

주거공간 내 광선반 곡률 형태에 따른 채광성능평가 연구

Research on Lighting Performance Evaluation for Different Curvature Reflection Rate in Residential Space

오상원(Sangwon Oh), 이행우(Heangwoo Lee), 김용성(Yongseong Kim)[†], 서장후(Janghoo Seo)
국민대학교 테크노디자인전문대학원

The Graduate School of Techno Design, Kookmin University, Seoul, 136-702, Korea

(Received April 10, 2015; revision received May 9, 2015; Accepted: May 14, 2015)

Abstract Currently, 22% of the total energy consumption of buildings in Korea is used for lighting. Light-shelves have garnered attention as a way to reduce consumption, but there are few studies on the types of curve and curvature, which limits the improvement of light-shelf performance and its design. This study constructed a test bed of actual residential types to evaluate the performance. Outcomes of light usage, according to variables of light-shelves, were used as indicators of performance evaluation. The results are as follows : 1) Performance evaluation was conducted on flat-type light-shelves to verify performance of curvature-shelves, which are movable with a width of 200 mm, and the most ideal angle and specification per solar term are calculated. 2) The (-) shaped curvature contributed to a reduction in energy consumption and an improvement of evenness. 3) In case of light-shelves with (-) shaped curvature, an increased angle not exceeding 80° of the arc contributed to an improvement of light penetration. 4) Appropriate specifications of curved light-shelves include movable types with widths of 200 mm, and angle ranges of 20°~60°. 5) Light energy consumption of a movable light-shelf with curvature and width of 200 mm were reduced by 17% and 7.8% compared to a 0° fixed and a movable light-shelf, respectively.

Key words Light-shelf(광선반), Curvature(곡률), Performance evaluation(성능평가), Energy saving(에너지저감)

[†] Corresponding author, E-mail: yongkim@kookmin.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

IEA가 발표한 World Energy Outlook 2011에 의하면 건물이 소비하는 에너지량은 전체 에너지소비량의 34%로 나타나고 있으며, 건물에너지 사용량은 지속적으로 증가할 것이라고 예측하고 있다. 또한, 2010 LUTRON Lighting Control System Seminar의 자료에 의하면 조명 에너지 사용량은 한국의 경우 22%로 높게 나타나고 있다. 이에 조명에너지 저감을 위한 다양한 연구가 진행 중에 있다. 광선반은 외부 자연광을 반사를 통하여 실내 깊숙이 유입시키는 자연채광 시스템으로써 그 효율성을 인정받아서 다양한 연구가 진행되었다.⁽¹¹⁾ 그러나 기존 광선반에 대한 연구는 평판형의 반사판을 적용한 연구가 주를 이루고 있다. 이러한 평판형의 반사판을 적용한 광선반의 경우에는 거울 반사가 이루어져 광선반의 채광성능 및 실내 빛환경 개선의 한계로 작용되고 있다.⁽¹³⁾

최근 제조업 및 산업의 발전은 다양한 분야에 변화를 유도하고 있으며,⁽¹²⁾ 광선반을 포함한 자연채광 관련 사업 분야에서도 단순한 형태에서 벗어나 곡면과 곡률을 통한 채광성능 개선과 더불어 미적 효과를 거두고 있다. 그러나 광선반에 적용된 곡면 형태나 곡률에 따른 성능평가 연구는 진행된 바 없으며, 에너지 문제에 직면하고 있는 현시점에서 곡률 적용 광선반의 조명에너지 저감 성능과 설계를 위한 기초 자료 구축은 반드시 필요한 연구로 사료된다.⁽¹⁴⁾ 이에 본 연구의 목적은 곡면 형태 및 곡률에 따라서 주거공간 내에 미치는 광선반의 채광을 통하여 성능검증을 위한⁽¹⁶⁾ 기초자료 구축과 그 유효성 검증이다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구는 주거공간 내 광선반의 곡면형태 및 곡률에 따른 광선반의 성능평가를 도출하기 위하여 Fig. 1에서 나타나듯이 다음 절차에 의하여 진행되었다.

첫 번째, 곡률 적용 광선반의 성능평가를 진행하기

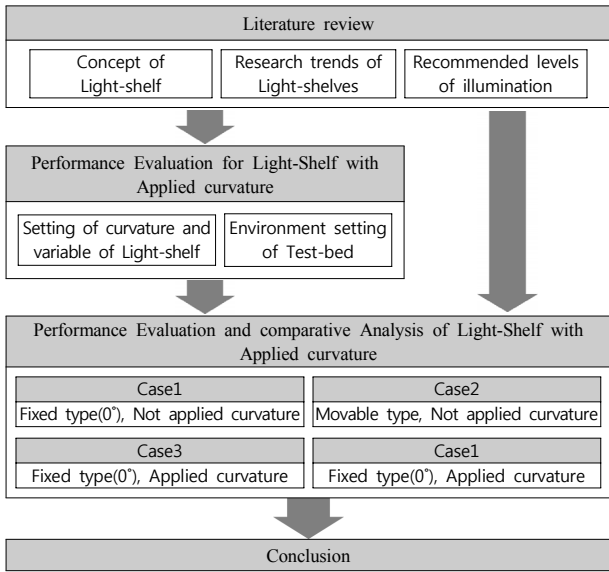


Fig. 1 Flowchart of study.

위하여 광선반의 개념 및 연구동향과 주거 내 조도 기준에 대하여 문헌 고찰을 실시하였다. 두 번째, 성능평가를 위한 환경 설정 단계로 광선반의 곡률 및 변인에 대한 설정과 테스트베드의 실내외 공간의 환경설정을 실시하였다. 세 번째, 곡률적용 광선반의 성능 검증을 위하여 곡률 적용 및 가동 여부에 따라서 4가지의 case를 설정하여 성능평가 및 비교 분석을 진행하였으며, 그에 따른 곡률적용 광선반의 유효성과 곡률적용 광선반의 적정안을 도출하였다.

본 연구의 성능평가는 광선반에 의한 실내 조도 분포를 근거로 디밍조명과 연동⁽¹⁰⁾하였으며, 이후 전력사용량을 산출하여 실거주 기반의 성능평가를 진행하였다.

2. 광선반의 개념 및 사례

2.1 광선반의 개념

광선반은 Fig. 2에서 나타나듯이 외부 자연광을 반사를 통하여 실내 깊숙이 유입하는 자연채광 시스템으로 제1 반사가 이루어지는 광선반 반사판의 형태는 광

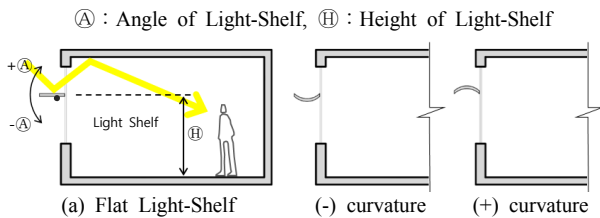


Fig. 2 Concept and curvature type of light-shelf.

선반의 채광성능을 결정하는 중요한 광선반의 변인 중 하나이다.⁽¹⁹⁾ 이후 본 연구는 곡률 적용 광선반의 성능평가 및 적정 변인 도출을 목적으로 평판형 광선반의 단면을 기준으로 좌우측 대칭된 형태로 위로 볼록한 형태 및 아래로 볼록한 형태를 각각 (+) 곡률과 (-) 곡률로 정의하여 연구를 진행하였다.

2.2 광선반 반사판의 형태에 따른 기존연구 고찰

기존 광선반의 성능평가에 관련한 연구는 Table 1에서 나타나듯이 평판형 광선반에 국한하여 진행되었으며, 곡면이 적용된 ‘광선추적기법을 활용한 곡면형 광선반 시스템 채광성능 평가’ 연구는 특정 형태의 곡면에 의하여 진행되어 형태 및 곡률에 따른 광선반 성능 및 설계의 기초자료로는 부적합 한 것으로 판단된다.

2.3 성능평가를 위한 주거공간 내 조도 기준

주거공간에서의 조도는 실내 빛 환경 관련 쾌적도 및 조명에너지 저감과 밀접한 관계를 가지며, 이에 따라서 주거 공간은 공간의 성격에 따른 권장 조도 기준을 설정하고 있다. 국내의 경우에는 조도기준을 KS A

Table 1 Performance evaluation research on shape of reflection board used for light shelves

Title of Study	years	Light-shelf type
Visual Performance Evaluation Study of a Scaled Light-Shelf Model ⁽¹⁾	2003	flat type
Design and Performance of Horizontal Light-Redirecting Devices in Offices ⁽²⁾	2003	flat type
Development and Performance Evaluation of a Sloped Lightshelf Daylighting System ⁽³⁾	2004	flat type
A Design and Performance Evaluation of Differentiated Daylight-Glazing Systems ⁽⁴⁾	2005	flat type
A Study on the Performance Evaluation of Lightshelf Daylighting system for Educational building ⁽⁵⁾	2006	flat type
Daylighting Performance Evaluation of window Integrated Light Shelf System ⁽⁶⁾	2007	flat type
A Study on the Characteristics of Daylighting Environment in Classroom of an School Building Due to the External Shading Devices ⁽⁷⁾	2008	flat type
Architectural Implementation for the Daylight-Performance in the Elementary School ⁽⁸⁾	2010	flat type
Evaluation of Daylighting Performance and Design of a Curved-Lightshelf by the Ray Tracing Method ⁽⁹⁾	2011	curvature of specific shape

Table 2 Recommended illuminance(KS A 3011)

Division	Measurement Location	Illumination	Scope [lx]
Living room	General Work	Above the floor 40±5(cm)	150 - 200 - 300 300 - 400 - 600

3011으로 명시하고 있으며,⁽²⁰⁾ 본 연구는 Table 2에서 나타나듯이 거실에서 작업시의 표준 조도를 근거로 이후 성능평가를 위한 조명제어의 기준 조도로 400 lx를 설정하였다.

3. 곡률적용 광선반 성능평가 설정 및 분석 방법

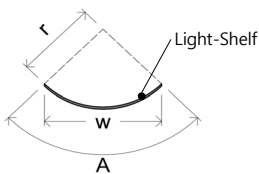
3.1 광선반 변인설정 및 반사판 곡률설정

본 연구의 광선반 변인설정은 Table 3과 같으며, 광선반의 높이는 재실자의 눈높이 및 성능이 우수하다고 평가된 1.8 m⁽¹⁹⁾로 통제하였다. 또한 본 연구의 광선반 곡률 설정은 광선반 폭에 따른 호의 각도를 기준으로 설정하였으며, 호의 각도는 20°, 40°, 60°, 80°, 100°으로 설정하였다. 곡률 산출하는 방법은 Fig. 3과 같다. Table 4는 본 연구에서 설정한 광선반 폭과 호의 각도에 따른 곡률값이다. 이후 본 연구에서는 곡률적용 광선반의 성능평가 결과에 대한 이해도를 높이기 위하여 곡률로 표기하기보다 호의 각도로 명시하였다.

3.2 성능평가 Test-bed 개요 및 조도 센서 위치

본 연구의 성능평가를 진행한 테스트베드는 Table 5에서 나타나듯이 폭 4.9 m, 깊이 6.6 m, 높이 2.5 m의 크

Light-shelf	range
width	200 mm, 400 mm, 600 mm
type	External type flat, Curvature(+, -)
Angle of arc	0°, 20°, 40°, 60°, 80°, 100°
Angle	-10°, 0°, 10°, 20°, 30°
height	1800 mm
reflectivity	specular reflection film(reflexibility 85%)



$$curvature = \frac{1}{r}$$


w : width of Light-Shelf
A : angle of arc
r : radius of curvature

Fig. 3 Curvature calculation method per width of light shelf and arc angle.

Table 4 Curvature calculation per width of light shelf and arc angle

Width (mm)	Angle of arc	Curvature	Width (mm)	Angle of arc	Curvature
	0	0		60	0.00249
200	20	0.00349	400	80	0.00321
	40	0.00343		100	0.00384
	60	0.00500		0	0
	80	0.00647		20	0.00059
	100	0.00768		40	0.00115
400	0	0	600	60	0.00167
	20	0.00088		80	0.00214
	40	0.00173		100	0.00255

Table 5 Setting of test-bed

Room size, Material	4.9 m(W)×6.6 m(D), 2.5 m(Ceiling height) Wall : reflexivity 46%
Window size, Material	2.2 m(W)×1.8 m(H) Pair glass 12 mm(3 mm×6 mm×3 mm)
Direction	South
Overview of test-bed and artificial sunlight	

기이며, 창의 크기는 폭은 2.2 m, 높이는 1.8 m로 채광 성능을 위한 외부환경은 정남향으로 설정하였다.⁽¹⁷⁾

곡률적용 광선반의 성능평가를 위한 조도 측정 위치는 Fig. 4와 Fig. 5에서 나타나듯이 총 8개이며, 조도 측정높이는 앞서서 고찰한 KS A 3011를 근거하여 바닥으로부터 450 mm지점에서 실내 조도값을 설정하였다.

3.3 곡률적용 광선반의 성능 평가 방법

곡률 적용 광선반의 성능평가를 위한 방법은 다음과 같다. 첫 번째, 광선반의 변인에 따른 실내 조도 값을 측정하였으며, 이후 최소 조도, 최대 조도, 평균 조도, 평균조도를 도출하여 성능평가 지표로 활용하였다.⁽¹⁸⁾ 균제도는 평균 조도에 대한 최소 조도의 값으로 산출하였다. 두 번째, 본 연구는 가동형 광선반 설정을 위하여 동지, 하지, 춘추분에 대한 적정 광선반 각도를 도출하였다. 적정 광선반 각도는 에너지 저감에 근거하여 측정되는 8개의 조도 값이 400 lx 만족여부를 1차적으로 고려하였으며, 400 lx 이하인 지점이 발생한 경우에는 최소 조도 값이 400 lx에 가장 근접한 각도를 적정각도로 도출하였다. 세 번째, 본 연구는 실내

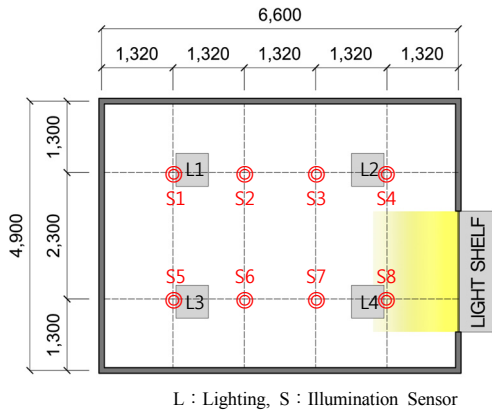


Fig. 4 Floor plan of test-bed and location of illumination sensors.

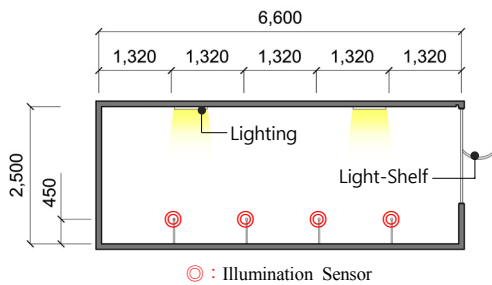


Fig. 5 Section view of test-bed and location of illumination sensors.

Table 6 Experiment case

	case 1	case 2	case 3	case 4
Reflector type	Flat	Flat	Curvature	Curvature
Activating light shelf	0° fixed	-10°~30° (at every 10°)	0° fixed	based on appropriate angle from case 2

조도 값에 근거하여 조명 디밍제어를 실시하였으며, 조명 디밍제어 간 발생하는 조명에너지 사용량을 도출하여⁽¹⁵⁾ 광선반 성능평가를 위한 지표로 활용하였다. 조명 디밍제어는 측정되는 조도 값 중 최저값으로 측정되는 센서와 근접한 조명부터 디밍제어를 순차적으

Table 7 Calculation method of lighting energy consumption in performance evaluation of light shelf

Light-shelf		Dimming control	lighting energy consumption
Width	Angle	Light Number(dimming Level)	ratio of artificial light×Time(1H)×Solar term(15days)
200	0° fixed	(Winter solstice)Light1(1)	(Winter solstice)12.33×1×15 = 184.95 W
		(Summer solstice)Light1(8) → Light3(8) → Light2(4)	(Summer solstice)129.27×1×15 = 1939.05 W
		(Spring and Fall solstice)Light1(8) → Light3(8)	(Spring and Fall solstice)101.62×1×30 = 3048.6 W
			sum : 5.173 kWh

로 실시하도록 하였으며, 400 lx를 만족할 경우에 조명 제어를 종료하도록 하였다. 본 연구의 디밍 조명제어는 8단계로 제어되도록 구축하였으며, 조명에너지 전력사용량은 정남향의 1시간 및 절기 당 약 15일을 근거하여 Table 6에서와 같은 방법으로 산출하였다.

4. 곡률적용 광선반 성능평가 결과 및 논의

4.1 곡률적용 광선반 성능분석을 위한 대조군 설정

본 연구는 곡률적용 광선반의 성능평가를 위하여 Table 6에서 나타나듯이 4가지의 Case로 설정하여 진행하였다. Case 1과 Case 2는 곡률이 미적용된 평판형 광선반으로 0° 고정형과 -10°~30°의 가동형으로 설정하였다. Case 3과 Case 4는 곡률적용 광선반으로 각각 0° 고정형과 가동형 타입이며, 가동형의 경우 case 2의 적정각도를 근거하였다.

4.2 곡률미적용 광선반 성능평가 결과

곡률미적용 광선반의 폭과 각도에 따른 성능평가 결과는 Table 8과 같으며, Table 8을 근거로 도출되는 절기별 적정 각도와 조명에너지 사용량은 각각 Table 9, Table 10과 같다. 도출된 결과를 통하여 분석된 결과는 다음과 같다.

첫 번째, 평판형 광선반의 각도 증가는 외부 자연광의 유입량을 증가하여 에너지 저감에 적합하나 하지의 경우 각도 증가는 균제도를 저하시키므로 적정각도를 도출하여야 한다. 두 번째, 광선반 폭에 따른 적정각도는 상이하게 나타나고 있으나 동지 20°, 하지 30°, 춘추분 10°~20°로 도출된다. 세 번째, 곡률 미적용 광선반의 조명에너지 사용량 산출에 따른 성능평가 결과 폭 200 mm의 가동형 광선반이 적정안으로 판단된다.

곡률미적용 광선반의 성능평가 결과는 Table 11~Table 13과 같으며, 분석 내용은 다음과 같다.

첫 번째, 광선반의 곡면형태는 (-)형태의 곡률적용 광선반이 (+)형태의 곡률적용 광선반에 대비하여 높은 조도가 형성되어 에너지 저감 및 균제도 개선에 적합하며, 또한 균제도 개선에도 유리하게 나타난다.

두 번째, (-)형태의 곡률적용 광선반의 경우에는 호

Table 8 Performance evaluation result of flat light-shelf

Light-shelf		Season											
Width	Angle	Winter			Summer			Spring and Fall					
		Illumination		Ave.	UR	Illumination		Ave.	UR	Illumination		Ave.	UR
		min	max		min	max			min	max			
200	-10	390.0	23779.4	6316.9	0.062	100.1	1141.3	358.8	0.279	174.3	39263.1	5305.1	0.033
	0	398.6	23707.7	6319.1	0.063	108.0	1194.2	373.1	0.289	174.2	39201.9	5285.8	0.033
	10	399.8	23697.9	6320.0	0.063	102.6	1221.4	377.5	0.272	173.7	39198.5	5293.3	0.033
	20	409.0	23733.3	6337.8	0.065	107.0	1275.9	407.2	0.263	198.5	39205.5	5318.9	0.037
	30	406.6	23772.7	6347.5	0.064	111.8	1347.6	447.6	0.250	181.4	39200.7	5311.7	0.034
400	-10	371.5	23682.7	6259.0	0.059	100.4	1176.3	363.8	0.276	155.2	39265.9	5275.1	0.029
	0	377.0	23621.5	6277.3	0.060	104.2	1246.9	393.0	0.265	162.8	39305.9	5285.3	0.031
	10	397.7	23631.2	6302.1	0.063	121.4	1747.7	510.9	0.238	164.4	39290.1	5289.0	0.031
	20	401.7	23649.6	6322.2	0.064	106.7	1699.6	504.8	0.211	194.7	39224.2	5340.0	0.036
	30	402.2	23771.1	6345.2	0.063	121.2	1500.1	528.7	0.229	174.9	39172.2	5284.7	0.033
600	-10	353.6	23777.9	6261.7	0.056	100.2	1197.9	373.5	0.268	145.2	39114.4	5219.5	0.028
	0	347.4	23578.2	6256.1	0.056	106.9	1309.1	408.8	0.262	156.1	39504.8	5337.7	0.029
	10	387.8	23588.9	6286.8	0.062	110.7	2006.3	569.1	0.195	172.2	39402.3	5310.8	0.032
	20	405.2	23643.7	6314.1	0.064	116.8	1943.7	570.9	0.205	159.6	39115.7	5257.9	0.030
	30	383.5	23773.3	6325.1	0.061	135.0	1670.1	576.6	0.234	163.9	39106.8	5258.2	0.031

Ave. : Average, UR : uniformity ratio, □ : This indicates lower score than 400 lx.

Table 9 Optimum angle of flat light-shelf

solar term	Light-shelf width(mm)	appropriate angle
Winter	200	30°
	400	20°
	600	20°
Summer	200	30°
	400	30°
	600	30°
Spring and Fall	200	20°
	400	20°
	600	10°

Table 10 Energy consumption of flat light-shelf

Light-Shelf		Energy Consumption (kWh)
Width (mm)	Angle	
200	0° fixed	5.173
400		5.173
600		5.543
200	Active-winter solstice : 30° Summer solstice : 30°, Spring/autumnal equinox : 20°	4.657
400	Active-winter solstice : 20° Summer solstice : 30°, Spring/autumnal equinox : 20°	4.741
600	Active-winter solstice : 20° Summer solstice : 20°, Spring/autumnal equinox : 10°	5.033

의 각도가 20°, 40°, 60°로 증가함에 따라서 채광성능이 개선되고 있으나, 80° 이상인 경우에는 채광성능이 저하되어 광선반 설계시 고려해야 한다.

세 번째, 곡률 적용 광선반은 호의 각도에 따라서 성능차이를 보이고 있으나, 에너지 저감 측면에서 폭 200 mm, 호의 각도 20°~60°인 가동형 광선반이 가장 우수하게 나타나고 있다.

네 번째, 폭 200 mm, 호의 각도 0°인 각도 0° 고정형 곡률적용 광선반은 각도 0° 고정형 평판 광선반과 가동형 평판 타입의 광선반에 대비하여 각각 16.4%, 7.1%의 조명에너지 저감이 가능하다. 또한, 폭 200 mm, 호의 각도 20°~60°인 가동형 곡률적용 광선반은 각도 0° 고정형 평판형 광선반과 가동형 평판타입의 광선반에 대비하여 각각 17%, 7.8%의 조명에너지 저감이 가능하다.

4.3 곡률미적용 광선반 성능평가 논의

본 연구는 곡률적용 광선반의 성능평가를 진행하였으며, 그에 대한 적정안으로 폭 200 mm, 호의 각도 20°~60°인 가동형 광선반을 도출하였다. 또한, Fig. 6에서 나타나듯이 각도 0° 고정형 곡률적용 광선반의 경우에는 가동형 평판타입의 광선반에 대비하여 에너지 저감이 가능함을 확인하였다. 이는 광선반의 가동이라는 복잡한 메카니즘이 아닌 단순 광선반의 형태 변화를 통한 에너지 저감이라는 측면에서 유의미하다.

5. 결 론

본 연구는 에너지 저감을 위한 곡률적용 광선반의

Table 11 Performance evaluation results of light-shelf with applied curvature light shelf during winter and summer solstice

Solar term	Light-shelf		Cur	Arc	Illumination				Cur	Arc	Illumination				
	Width	Angle			min		Ave.	UR			min		Ave.	UR	
					max	Ave.					max	Ave.			
Winter	200	0°	(-)	0°	398.6	23707.7	6319.1	0.063	(+)	0°	398.6	23707.7	6319.1	0.063	
				20°	410.1	23374.7	6277.0	0.065	20°	393.1	22805.6	6093.8	0.065		
				40°	411.9	23375.8	6280.3	0.066	40°	393.1	22805.6	6093.8	0.065		
				60°	422.0	23397.1	6293.1	0.067	60°	390.4	22785.4	6085.5	0.064		
				80°	424.2	23399.3	6295.8	0.067	80°	387.4	22777.9	6088.6	0.064		
				100°	422.7	23401.8	6298.3	0.068	100°	382.6	22760.5	6072.3	0.063		
		30°	0°	406.6	23772.7	6347.5	0.064	0°	406.6	23772.7	6347.5	0.064			
			20°	410.0	23719.1	6337.0	0.065	20°	413.2	23739.4	6338.6	0.065			
			40°	411.8	23746.4	6345.2	0.065	40°	410.7	23749.8	6342.7	0.065			
			60°	415.2	23726.5	6329.0	0.066	60°	403.1	23695.5	6322.8	0.064			
			80°	405.9	23699.0	6322.3	0.064	80°	400.8	23751.6	6334.7	0.063			
			100°	398.7	23734.7	6324.2	0.063	100°	392.0	23666.1	6306.9	0.062			
		0°	0°	377.0	23621.5	6277.3	0.060	0°	377.0	23621.5	6277.3	0.060			
			20°	390.3	23342.4	6244.3	0.063	20°	360.6	22838.4	6076.2	0.059			
			40°	392.0	23315.7	6237.1	0.063	40°	362.8	23377.6	6205.5	0.058			
			60°	395.0	23323.6	6242.6	0.063	60°	358.5	22769.9	6051.2	0.059			
			80°	395.4	23308.5	6240.7	0.063	80°	357.5	22500.4	5997.1	0.060			
			100°	380.9	23299.1	6234.2	0.061	100°	352.6	22751.8	6036.0	0.058			
		400	20°	(-)	0°	401.7	23649.6	6322.2	0.064	(+)	0°	401.7	23649.6	6322.2	0.064
					20°	408.7	23335.8	6264.2	0.065	20°	396.4	22602.3	6066.5	0.065	
					40°	422.9	23348.1	6278.7	0.067	40°	383.9	22750.9	6070.4	0.063	
					60°	428.9	23388.6	6296.2	0.068	60°	377.8	22748.4	6059.1	0.062	
					80°	438.0	23387.5	6300.7	0.070	80°	364.6	22727.5	6042.1	0.060	
					100°	431.6	23396.2	6304.0	0.068	100°	352.6	23045.8	6066.9	0.058	
	0°				0°	347.4	23578.2	6256.1	0.056	0°	347.4	23578.2	6256.1	0.056	
					20°	348.6	23227.9	6170.0	0.056	20°	363.4	23423.8	6217.6	0.058	
					40°	357.9	23261.6	6188.1	0.058	40°	357.5	23408.1	6208.6	0.058	
					60°	367.2	23295.3	6206.1	0.059	60°	354.6	23404.4	6200.8	0.057	
					80°	360.7	23329.0	6201.6	0.058	80°	339.6	23020.9	6106.5	0.056	
					100°	354.2	23362.7	6197.0	0.057	100°	333.9	23183.5	6128.4	0.054	
	600		0°	(-)	0°	405.2	23643.7	6314.1	0.064	(+)	0°	405.2	23643.7	6314.1	0.064
					20°	404.0	24237.6	6290.9	0.064	20°	383.9	22750.9	6070.4	0.063	
					40°	421.3	24230.4	6369.1	0.066	40°	396.4	22602.3	6066.5	0.065	
					60°	438.5	24223.1	6447.3	0.068	60°	377.5	22748.4	6059.1	0.062	
					80°	432.0	23413.2	6306.8	0.068	80°	364.3	22727.5	6042.1	0.060	
					100°	426.9	23399.6	6289.1	0.068	100°	352.6	23045.8	6066.9	0.058	
			20°	0°	108.0	1194.2	373.1	0.289	0°	108.0	1194.2	373.1	0.289		
				20°	117.1	1700.6	513.9	0.228	20°	114.5	1085.7	367.1	0.312		
				40°	124.3	2025.1	601.3	0.207	40°	116.9	1057.2	349.5	0.334		
				60°	122.8	1821.7	558.8	0.211	60°	114.8	1028.8	331.5	0.346		
				80°	121.2	1618.2	516.3	0.192	80°	112.8	1000.4	313.4	0.360		
				100°	119.6	1414.8	475.7	0.200	100°	110.8	972.0	295.3	0.278		
	200	0°	(-)	0°	111.8	1347.6	447.6	0.250	(+)	0°	111.8	1347.6	447.6	0.250	
				20°	115.0	1358.8	444.1	0.259	20°	113.3	1217.7	393.7	0.288		
				40°	117.2	1400.6	450.9	0.260	40°	107.6	1230.5	392.0	0.275		
				60°	115.5	1400.6	450.7	0.256	60°	107.3	1188.1	378.7	0.283		
				80°	114.8	1385.6	428.9	0.268	80°	104.4	1198.4	375.8	0.278		
				100°	113.5	1378.2	417.9	0.267	100°	104.2	1189.2	372.5	0.280		
30°		0°	104.2	1246.9	393.0	0.265	0°	104.2	1246.9	393.0	0.265				
		20°	121.8	1250.3	435.0	0.280	20°	108.1	1242.7	389.3	0.278				
		40°	122.9	1268.1	441.8	0.278	40°	108.0	1254.6	397.0	0.272				
		60°	124.1	1264.7	446.0	0.278	60°	107.9	1237.4	388.5	0.278				
		80°	119.5	1257.1	426.6	0.280	80°	106.3	1220.7	386.5	0.275				
		100°	121.8	1250.3	435.0	0.280	100°	103.5	1177.4	370.5	0.279				
400	0°	(-)	0°	121.2	1500.1	528.7	0.229	(+)	0°	121.2	1500.1	528.7	0.229		
			20°	132.3	1599.2	538.4	0.246	20°	126.8	1794.8	630.6	0.201			
			40°	136.3	1606.6	575.2	0.237	40°	124.9	1476.1	469.6	0.266			
			60°	130.2	1595.6	520.0	0.250	60°	110.2	1187.1	377.7	0.292			
			80°	128.2	1591.9	501.6	0.256	80°	105.6	1344.0	418.2	0.252			
			100°	126.2	1588.3	483.3	0.261	100°	102.4	845.9	277.6	0.369			
			30°	0°	106.9	1309.1	408.8	0.262	0°	106.9	1309.1	408.8	0.262		
				20°	121.8	1250.3	435.0	0.280	20°	109.0	1266.1	400.9	0.272		
				40°	122.9	1268.1	441.8	0.278	40°	91.3	1253.6	394.2	0.232		
				60°	124.1	1264.7	446.0	0.278	60°	90.3	1249.2	391.0	0.231		
				80°	120.6	1317.2	438.7	0.275	80°	89.1	1231.1	386.3	0.231		
				100°	119.5	1257.1	426.6	0.280	100°	79.7	1228.9	383.2	0.208		
	600	0°	(-)	0°	135.0	1670.1	576.6	0.234	(+)	0°	135.0	1670.1	576.6	0.234	
				20°	163.4	1832.2	693.3	0.236	20°	136.8	1448.8	457.1	0.299		
				40°	167.4	1842.4	703.0	0.238	40°	118.5	1310.3	374.4	0.317		
				60°	171.3	1852.6	712.6	0.240	60°	80.9	1091.5	298.5	0.271		
				80°	159.5	1822.0	683.7	0.233	80°	79.0	892.8	254.4	0.250		
				100°	155.5	1811.7	674.1	0.231	100°	78.1	796.0	225.6	0.274		

Cur : Curvature type, Arc : Angle of arc, Ave. : Average, UR : uniformity ratio, : This indicates lower score than 400 lx.

Table 12 Performance evaluation result of light-shelf with applied curvature light shelf during spring and fall equinox

Light-shelf		Cur	Arc	Illumination		Ave.	UR	Cur	Arc	Illumination		Ave.	UR
Width	Angle			min	max					min	max		
200	0°	—	0°	174.2	39201.9	5285.8	0.033	—	0°	174.2	39201.9	5291.0	0.033
			20°	212.7	37621.9	5163.2	0.041		20°	124.3	37365.9	4973.8	0.025
			40°	214.1	37635.9	5163.0	0.041		40°	117.1	37243.8	4935.9	0.024
			60°	207.9	37635.0	5171.2	0.040		60°	107.1	37121.7	4893.9	0.022
			80°	205.7	37584.4	5151.1	0.040		80°	106.7	36999.5	4870.3	0.022
			100°	202.6	37635.7	5163.5	0.039		100°	105.6	36877.4	4858.0	0.022
	20°	—	0°	198.5	39205.5	5318.9	0.037	—	0°	198.5	39205.5	5318.9	0.037
			20°	232.1	39977.5	5794.0	0.040		20°	103.7	38250.3	5005.7	0.021
			40°	243.9	40382.1	5906.6	0.041		40°	102.6	38115.0	4984.6	0.021
			60°	224.9	39238.4	5636.2	0.040		60°	101.6	37979.7	4967.3	0.020
			80°	208.3	38489.7	5381.5	0.039		80°	101.3	37844.3	4947.1	0.020
			100°	200.6	37446.3	5137.5	0.039		100°	100.6	37709.0	4930.6	0.020
400	0°	—	0°	162.8	39305.9	5285.3	0.031	—	0°	162.8	39305.9	5285.3	0.031
			20°	232.1	39977.5	5794.0	0.040		20°	105.4	38597.9	5052.3	0.021
			40°	243.9	40382.1	5906.6	0.041		40°	112.5	38387.7	5067.1	0.022
			60°	224.9	39238.4	5636.2	0.040		60°	104.2	38177.5	4999.2	0.021
			80°	208.3	38489.7	5381.5	0.039		80°	104.0	37967.2	4971.3	0.021
			100°	200.6	37446.3	5137.5	0.039		100°	102.0	37757.0	4942.6	0.021
	20°	—	0°	194.7	39224.2	5340.0	0.036	—	0°	194.7	39224.2	5340.0	0.036
			20°	214.3	39528.0	5406.7	0.040		20°	165.2	39438.9	5164.8	0.024
			40°	220.4	39172.8	5406.4	0.041		40°	136.4	39228.6	5123.3	0.023
			60°	208.2	38817.5	5304.4	0.039		60°	125.6	39018.4	5093.2	0.023
			80°	202.1	38462.2	5248.4	0.039		80°	107.6	38808.2	5055.6	0.021
			100°	196.1	38107.0	5195.0	0.038		100°	105.2	38562.6	5013.0	0.020
600	0°	—	0°	156.1	39504.8	5337.7	0.029	—	0°	156.1	39504.8	5337.7	0.029
			20°	187.1	39958.2	5407.1	0.035		20°	107.3	38921.2	5100.5	0.021
			40°	219.3	40479.5	5609.8	0.039		40°	101.6	38842.7	5090.6	0.020
			60°	227.4	40565.4	5631.8	0.040		60°	90.0	38764.2	5067.6	0.018
			80°	186.0	39826.4	5405.9	0.034		80°	88.8	38685.7	5052.1	0.018
			100°	170.9	39786.2	5389.3	0.032		100°	79.7	38607.2	5030.2	0.016
	10°	—	0°	172.2	39402.3	5310.8	0.032	—	0°	172.2	39402.3	5310.8	0.032
			20°	223.3	40005.8	5431.4	0.041		20°	113.6	37247.4	4912.6	0.023
			40°	227.2	40125.4	5484.4	0.041		40°	110.4	37188.3	4887.1	0.023
			60°	231.1	40245.0	5543.4	0.042		60°	108.2	37129.1	4876.0	0.022
			80°	214.1	39002.7	5277.9	0.041		80°	104.5	37070.0	4860.3	0.022
			100°	213.7	37999.7	5122.2	0.042		100°	101.8	37010.9	4842.1	0.021

Cur : Curvature type, A : Angle of arc, Ave. : Average, UR : uniformity ratio, : This indicates lower score than 400 lx.

Table 13 Energy consumption of light-shelf applied with curvature

Light-shelf			Energy Consumption (kWh)	Light-shelf			Energy Consumption (kWh)
Angle	Width	Angle of arc		Angle	Width	Angle of arc	
0° fixed	200	20°	4.236	Active-winter solstice : 30° Summer : solstice 30°, Spring/autumnal equinox : 20°	200	20°	4.293
		40°	4.236			40°	4.293
		60°	4.236			60°	4.293
		80°	4.511			80°	4.741
		100°	4.511			100°	5.268
		20°	4.063			20°	4.657
	400	20°	4.248	Active-winter solstice : 20° Summer : solstice 30°, Spring/autumnal equinox : 20°	400	20°	4.657
		40°	4.248			40°	4.657
		60°	4.511			60°	4.657
		80°	4.511			80°	4.657
		100°	4.758			100°	4.903
		20°	4.758			20°	5.082
600	20°	4.943	Active-winter solstice : 20° Summer : solstice 20°, Spring/autumnal equinox : 10°	600	20°	4.988	
	40°	4.943			40°	4.533	
	60°	4.943			60°	4.533	
	80°	4.758			80°	4.533	
	100°	4.758			100°	4.533	
	20°	4.758			20°	4.533	

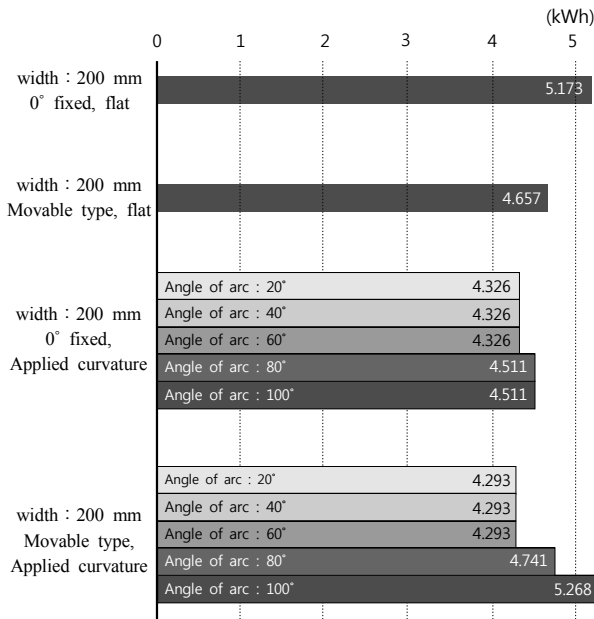


Fig. 6 Energy consumption of curved light-shelf.

유효성 및 적정안을 도출하기 위하여 테스트베드를 통한 성능평가를 진행하였으며, 그에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 연구는 곡률적용 광선반의 성능평가를 진행하기 위하여 평판형 광선반의 성능평가를 진행하였으며, 절기에 따른 적정 각도 도출 및 적정안을 도출하였다. 본 연구에서의 평판형 광선반 적정안은 폭 200 mm의 가동형 광선반이다.
- (2) 광선반의 곡면형태는 (-)형태의 곡률이 에너지 저감 및 균제도 개선에 유리하게 나타나고 있다.
- (3) (-)형태의 곡률적용 광선반의 경우에는 호의 각도 증가에 따라서 채광성능이 개선되나 80° 이상인 경우에는 채광성능이 저하되어 광선반 설계시 고려해야 한다.
- (4) 에너지 저감 측면에서의 곡률적용 광선반의 적정안은 폭 200 mm, 호의 각도 20°~60°인 가동형 광선반이다.
- (5) 폭 200 mm 곡률적용 가동형 광선반은 0° 고정형 및 가동형 평판 광선반에 대비하여 각각 17%, 7.8%의 조명에너지 저감이 가능하다.

곡률적용 광선반에 대한 성능평가는 에너지 저감의 중요성이 부각되고 있는 현 시점에서 의미하나, 본 연구는 곡률의 형태를 설정함에 있어서 호의 각도로 제한하였다는 한계가 있다. 이후 연구에서는 복합적인 형태가 적용된 광선반의 성능평가가 필요할 것이라 판단된다.

References

1. Cho, Y. S., Kim, B. S., and Lee, J. S., 2003, Visual Performance Evaluation Study of a Scaled Light-Shelf Model, *Journal of the Korea Solar Energy Society*, Vol. 23, No. 3, pp. 63-71.
2. Kim, J. T., Shin, H. G., and Kim, G., 2003, Design and Performance of Horizontal Light-Redirecting Devices in Offices, *Proceeding of the SAREK*, Vol. 19, No. 3, pp. 177-184.
3. Kim, J. T., Kim, K. C., and Kim, G., 2004, Development and Performance Evaluation of a Sloped Light shelf Daylighting System, *Journal of the Korea Solar Energy Society*, Vol. 24, No. 2, pp. 39-50.
4. Kim, G. and Kim, J. T., 2005, A Design and Performance Evaluation of Differentiated Daylight-Glazing Systems, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 19, No. 2 pp. 13-22.
5. Youn, J. H. et al., 2006, A Study on the Performance Evaluation of Lightshelf Daylighting system for Educational building, *Proceeding of the Aikra*, Vol. 8, No. 1, pp. 67-74.
6. Chung, Y. G., 2007, Daylighting Performance Evaluation of window Integrated Light Shelf System, *Journal of the KIEAE*, Vol. 7, No. 5, pp. 41-46.
7. Lim, J. H., Jung, J. J., and Lee, J. Y., 2008, A Study on the Characteristics of Daylighting Environment in Classroom of an School Building Due to the External Shading Devices, *Proceeding of the Korean Institute of Educational Facilities*, Vol. 15, No. 2, pp. 4-15.
8. Cho, Y. S., Kim, B. S., and Lee, J. S., 2003, Architectural Implementation for the Daylight-Performance in the Elementary School, *Journal of the KIEAE*, Vol. 10, No. 3, pp. 43-50.
9. Kim, D. S., Yoon, J. H., Shin, W. C., and Lee, G. H., 2003, Evaluation of Daylighting Performance and Design of a Curved-Light shelf by the Ray Tracing Method, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 31, No. 4, pp. 136-141.
10. Back, S. K. and Le, S. H., 2008, A Study on Lighting Design and Illumination and Luminance of in Advanced type Control Room by the Standard of Ergonomics, *Journal of the ergonomics society of Korea*, Vol. 27, No. 2, pp. 73-82.
11. Chung, Y. G., 2007, Daylighting Performance Evaluation of window Integrated Light Shelf System, *Journal of the Korea Solar Energy Society*, Vol. 27, No. 2, pp. 73-82.

- nal of the Korean Institute of Educational Architecture and Environment, Vol. 7, No. 5, pp. 41-46.
12. Cho, S., 2009, The Technical Development Status of Energy Convergence Building, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 55, No. 2, pp. 29-37.
 13. Cho, Y. S., 2003, Analysis on Indoor Daylight Performance having Light-shelf system, A Doctoral Dissertation, Graduate School Chungnam National University.
 14. Choi, T. J. et al., 2001, A Study on the Prediction of Energy Conservation in Apartment Building Utilization by light self, Proceeding of the SAREK Summer Annual Conference II, pp. 971-974.
 15. Han, S. P., 2010, A Study on Lighting Control Method for Harmonization of Daylighting and Artificial Lighting, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 26, No. 8, pp. 317-324.
 16. Kim, D. W. and Park, C. S., 2009, Performance Assessment of Building Envelopes II : Light Shelf, RetroLux, Proceeding of the KSES Spring Annual Conference, pp. 83-90.
 17. Kim, B. K. and Kim, J. T., 2005, Scale Model Experiment for Daylighting Performance by Lightshelf Types, Journal of the Korean Institute of Educational Architecture and Environment, Vol. 9, pp. 43-50.
 18. Kim, J. T. et al., 2005, Design and Performance Evaluation of Horizontal Light-Redirecting Devices in Offices, Proceeding of the SAREK Summer Annual Conference, Vol. 19, No. 3, pp. 277-284.
 19. Lee, H. W. and Lee, S. N., 2011, The Improvement of Uniformity Ratio for Luminous Environment Using Horizontal Light shelf in an Office Building, J. Korean Soc. LIVING ENVIRON. Sys, Vol. 18, No. 1, pp. 145-152.
 20. Lee, H. W. et al., 2013, Simulation Study on the Performance Evaluation of Light-shelf focused on the Depth of Space and the Dimensions and Angles of Light-shelf, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 29, No. 3, pp. 335-344.